

دانشگاه سیام نور
پی

زیست‌شناسی پرتوی

(رشته زیست‌شناسی)

دکتر صفیه صوفیان دکتر سعید رضایی زارچی

«امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.»^۱

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

۱. پیام مقام معظم رهبری به مناسبت آغاز هفته کتاب ۷۲/۱۰/۴

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	سیزده
فصل اول. تاریخچه علم زیست‌شناسی پرتوی	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
مقدمه	۱
۱-۱ کشف رونتگن	۱
۲-۱ اولین گزارش‌ها از تأثیرات رونتگن	۳
۳-۱ کشف رادیوم	۳
۴-۱ کشف رادرفورد	۴
۵-۱ شکافت هسته‌ای	۷
خلاصه فصل اول	۱۰
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول	۱۲
فصل دوم. معرفی پرتوها	۱۵
هدف کلی	۱۵
هدف‌های یادگیری	۱۵
مقدمه	۱۵
۱-۲ تشعشعات یون‌ساز	۱۹
۲-۲ تشعشعات غیر یون‌ساز	۱۹
۳-۲ پرتوهای ذره‌ای	۱۹
خلاصه فصل دوم	۲۰
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم	۲۰

۲۳	فصل سوم. پرتوهای ذره‌ای.....
۲۳	هدف کلی.....
۲۳	هدف‌های یادگیری.....
۲۳	مقدمه.....
۲۳	۱-۳ واپاشی آلفا.....
۲۵	۲-۳ واپاشی بتا.....
۲۵	۳-۲-۱ بتای منفی.....
۲۶	۳-۲-۲ بتای مثبت.....
۲۸	۳-۳ پرتوهای نوترونی.....
۲۸	۳-۳-۱ شکافت هسته‌ای.....
۳۰	۳-۳-۲ شکافت القا شده.....
۳۰	۳-۳-۳ خصوصیات پرتو نوترونی.....
۳۲	۴-۳ مقایسه بین قدرت نفوذ پرتوها.....
۳۳	خلاصه فصل سوم.....
۳۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....

۳۵	فصل چهارم. پرتوهای الکترومغناطیسی یونیزان.....
۳۵	هدف کلی.....
۳۵	هدف‌های یادگیری.....
۳۵	مقدمه.....
۳۵	۱-۴ پرتو گاما.....
۳۶	۲-۴ پرتو X.....
۳۷	۳-۴ خصوصیات پرتوهای ایکس و گاما.....
۳۷	۴-۴ مولدهای پرتو ایکس و کاربرد آنها.....
۳۹	۵-۴ خواص پرتوهای ایکس.....
۳۹	۴-۵-۱ خواص عمومی.....
۴۰	۴-۵-۲ خواص فیزیکی.....
۴۱	۴-۵-۳ خواص شیمیایی.....
۴۲	۴-۶ ماهیت ذره‌ای پرتوهای ایکس.....
۴۲	۴-۷ اثر پرتو ایکس یا گاما بر ماده.....
۴۲	۴-۷-۱ پدیده فوتوالکتریک.....
۴۲	۴-۷-۲ پدیده کمپتون.....
۴۳	۴-۷-۳ پدیده جفت یونسازی.....
۴۳	خلاصه فصل چهارم.....
۴۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....

فصل پنجم. پرتوهای الکترومغناطیس غیر یون ساز.....	۴۵
هدف کلی.....	۴۵
هدف های یادگیری.....	۴۵
مقدمه.....	۴۵
۱-۵ اشعه ماوراءبنفش.....	۴۶
۱-۱-۵ دسته بندی اشعه فرابنفش.....	۴۷
۲-۱-۵ شاخص فرابنفش.....	۴۸
۲-۵ اشعه مادون قرمز.....	۴۹
۱-۲-۵ خواص فیزیولوژیکی اشعه مادون قرمز.....	۵۰
۲-۲-۵ کاربردهای درمانی مادون قرمز.....	۵۱
۳-۲-۵ لامپ مادون قرمز.....	۵۱
۳-۵ امواج ماکروویو (ریزموج).....	۵۲
۴-۵ امواج رادیویی.....	۵۳
۱-۴-۵ طیف فرکانس امواج رادیویی.....	۵۴
۲-۴-۵ امواج وای فای.....	۵۵
خلاصه فصل پنجم.....	۵۶
خودآزمایی چهارگزینه ای فصل پنجم.....	۵۶
فصل ششم. تشعشع مصنوعی لیزر.....	۵۹
هدف کلی.....	۵۹
هدف های یادگیری.....	۵۹
مقدمه.....	۵۹
۱-۶ ویژگی های لیزر.....	۶۰
۲-۶ عناصر اساسی لیزر.....	۶۱
۱-۲-۶ دمنده.....	۶۱
۲-۲-۶ محیط لیزری.....	۶۲
۳-۲-۶ خروجی لیزر.....	۶۳
۳-۶ طرز کار یک لیزر یاقوتی.....	۶۳
۴-۶ لیزرهای متداول.....	۶۵
خلاصه فصل ششم.....	۶۵
خودآزمایی چهارگزینه ای فصل ششم.....	۶۵
فصل هفتم. تأثیرات زیستی تشعشعات یون ساز.....	۶۷
هدف کلی.....	۶۷
هدف های یادگیری.....	۶۷
مقدمه.....	۶۷

۶۸	۱-۷ رادیولیز آب.....
۶۸	۱-۱-۷ فراورده‌های اولیه رادیولیز آب.....
۶۹	۲-۱-۷ واکنش رادیکال‌های آب با گیرنده آن.....
۷۰	۲-۷ واکنش مستقیم و غیرمستقیم.....
۷۰	۱-۲-۷ واکنش مستقیم.....
۷۱	۲-۲-۷ واکنش غیرمستقیم.....
۷۲	۳-۷ بازترکیب، استرداد و ترمیم.....
۷۲	۱-۳-۷ بازترکیب.....
۷۲	۲-۳-۷ استرداد.....
۷۲	۳-۳-۷ ترمیم.....
۷۳	۴-۷ هدف بزرگ مولکولی در یاخته.....
۷۳	۱-۴-۷ شواهد موجود برای DNA به‌عنوان مولکول هدف.....
۷۳	۲-۴-۷ آسیب‌های وارده بر DNA در اثر رادیکال‌ها.....
۷۴	۳-۴-۷ گسیختگی زنجیره در DNA.....
۷۴	۴-۴-۷ اثرات وراثتی.....
۷۵	۵-۴-۷ جهش‌های ژنی.....
۷۶	۶-۴-۷ نتایج آزمون نهفته وابسته به جنس مولر.....
۷۷	۷-۴-۷ نتایج آزمون بر روی موش‌ها.....
۷۷	۸-۴-۷ جهش‌های ژنی اندازه‌گیری شده در یاخته‌های پستانداران.....
۷۸	خلاصه فصل هفتم.....
۷۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم.....
۸۱	فصل هشتم. اثر پرتو بر سلول.....
۸۱	هدف کلی.....
۸۱	هدف‌های یادگیری.....
۸۱	مقدمه.....
۸۲	۱-۸ ساختمان سلول‌ها.....
۸۲	۲-۸ تأثیر اشعه بر روی سلول.....
۸۲	۱-۲-۸ اثرات مستقیم.....
۸۳	۲-۲-۸ اثرات غیرمستقیم.....
۸۳	۳-۲-۸ تأثیر اشعه در مراحل مختلف چرخه سلول.....
۸۳	۳-۸ تغییرات ساختاری در کروموزوم‌ها.....
۸۴	۱-۳-۸ شکستن کروموزوم.....
۸۵	۲-۳-۸ تأثیر اشعه بر روی کروموزوم‌ها.....
۸۸	۴-۸ رابطه دز و بقا.....
۸۸	۱-۴-۸ آستانه کواسی.....

۹۰	۸-۴-۲ فاکتورهای مؤثر بر منحنی بقا.....
۹۰	۸-۵ اثرات زودرس و تأخیری پرتو در انسان.....
۹۰	۸-۵-۱ اثرات پوستی.....
۹۱	۸-۵-۲ اثرات روی عناصر خونی.....
۹۲	۸-۵-۳ اثرات روی سلول‌های جنسی.....
۹۲	۸-۵-۳-۱ اثر روی بیضه‌ها.....
۹۲	۸-۵-۳-۲ اثر روی تخمدان‌ها.....
۹۲	۸-۵-۴ اثرات روی جنین.....
۹۳	۸-۶ آثار زودرس عمومی در تمام بدن.....
۹۴	۸-۷ آثار تأخیری.....
۹۴	۸-۷-۱ اثر دیررس بر روی بدن.....
۹۴	۸-۷-۲ اثرات قطعی و احتمالی پرتوها.....
۹۵	خلاصه فصل هشتم.....
۹۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم.....
۹۹	فصل نهم. اثرات پرتو بر بافت‌ها.....
۹۹	هدف کلی.....
۹۹	هدف‌های یادگیری.....
۹۹	مقدمه.....
۱۰۰	۹-۱ اثر اشعه بر روی سیستم خون‌ساز.....
۱۰۰	۹-۱-۱ سرطان.....
۱۰۱	۹-۱-۲ لوسمی.....
۱۰۱	۹-۱-۳ کبد.....
۱۰۱	۹-۱-۴ کلیه‌ها.....
۱۰۲	۹-۲ اثر بر روی بیضه و تخمدان.....
۱۰۲	۹-۳ تأثیر اشعه بر روی دستگاه اعصاب مرکزی.....
۱۰۳	۹-۴ تأثیر اشعه بر روی چشم.....
۱۰۳	۹-۵ دستگاه معده-روده‌ای.....
۱۰۳	۹-۵-۱ مری.....
۱۰۴	۹-۵-۲ معده.....
۱۰۴	۹-۵-۳ روده کوچک و بزرگ.....
۱۰۵	۹-۵-۴ راست‌روده یا رکتوم.....
۱۰۵	۹-۶ اثر اشعه بر روی پوست.....
۱۰۶	۹-۷ ریه.....
۱۰۶	۹-۸ سرطان تیروئید.....
۱۰۶	۹-۹ سرطان استخوان.....

۱۰-۹	آسیب‌پذیری بافت‌های بدن در مقابل پرتو.....	۱۰۶
۱۱-۹	تأثیر پرتوگیری بر تمام بدن.....	۱۰۷
۱-۱۱-۹	اثرات ژنتیکی.....	۱۰۷
۲-۱۱-۹	اثرات سرطان‌زایی.....	۱۰۹
۱۲-۹	درمان قطعی.....	۱۰۹
	خلاصه فصل نهم.....	۱۱۰
	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل نهم.....	۱۱۰

فصل دهم. تأثیرات زیستی تشعشعات غیر یون‌ساز.....	۱۱۳
هدف کلی.....	۱۱۳
هدف‌های یادگیری.....	۱۱۳
مقدمه.....	۱۱۳
۱-۱۰ تأثیرات زیستی نور فرابنفش.....	۱۱۳
۱-۱-۱۰ لایه ازن.....	۱۱۴
۲-۱-۱۰ ویژگی‌های پرتو فرابنفش.....	۱۱۴
۳-۱-۱۰ کاربرد اشعه فرابنفش.....	۱۱۵
۴-۱-۱۰ اثرات بیولوژیکی پرتوهای ماوراءبنفش.....	۱۱۵
۵-۱-۱۰ اثرات مضر اشعه ماوراءبنفش نور خورشید بر چشم انسان.....	۱۱۵
۲-۱۰ مادون‌قرمز.....	۱۱۷
۱-۲-۱۰ تأثیرات زیستی اشعه مادون‌قرمز.....	۱۱۷
۲-۲-۱۰ کاربرد نور مادون‌قرمز.....	۱۱۷
۳-۱۰ تأثیرات امواج رادیویی و میکروویو.....	۱۱۸
خلاصه فصل دهم.....	۱۲۰
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دهم.....	۱۲۰

فصل یازدهم. کاربردهای لیزر و خطرات آن.....	۱۲۳
هدف کلی.....	۱۲۳
هدف‌های یادگیری.....	۱۲۳
مقدمه.....	۱۲۳
۱-۱۱ کاربردهای لیزر.....	۱۲۴
۱-۱-۱۱ کاربرد لیزر در پزشکی.....	۱۲۴
۲-۱-۱۱ کاربردهای صنعتی لیزر.....	۱۲۸
۲-۱۱ ایمنی کار با لیزر.....	۱۲۹
خلاصه فصل یازدهم.....	۱۳۰
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل یازدهم.....	۱۳۰

فصل دوازدهم. استفاده از رادیو ایزوتوپ‌ها.....	۱۳۳
هدف کلی.....	۱۳۳
هدف‌های یادگیری.....	۱۳۳
مقدمه.....	۱۳۳
۱-۱۲ کاربرد در پزشکی.....	۱۳۳
۱-۱-۱۲ استفاده در بخش تشخیص.....	۱۳۴
۱-۱-۱-۱۲ برش‌نگاری رایانه‌ای.....	۱۳۶
۱-۱-۱-۱۲ اسکن تابشی یا PET.....	۱۳۷
۱-۱-۱-۱۲ تشخیص پخش شدن و گسترش تومورها به استخوان.....	۱۳۹
۱-۱-۱۲ استفاده در تحقیقات پزشکی.....	۱۳۹
۱-۱-۱۲ استفاده در درمان (رادیوتراپی).....	۱۳۹
۱-۱-۱۲ گاما درمانی.....	۱۴۱
۱-۱-۱۲ کبالت ۶۰.....	۱۴۱
۱-۱-۱۲ کاربردهای اشعه گاما.....	۱۴۲
۱-۱-۱۲ چاقوی گاما چاقویی بدون قابلیت برش.....	۱۴۳
۱-۱-۱۲ ایمنی اشعه گاما.....	۱۴۵
۱-۱-۱۲ عوارض جانبی اشعه گاما.....	۱۴۵
۱-۱-۱۲ مزایای مواد رادیواکتیو.....	۱۴۵
۱-۱۲ کاربرد در صنعت.....	۱۴۶
۱-۱۲ کاربرد انرژی هسته‌ای در صنایع غذایی.....	۱۴۷
۱-۱۲ کاربرد انرژی هسته‌ای در کشاورزی.....	۱۴۷
۱-۱۲ اثرات پرتو بر گیاهان عالی.....	۱۴۸
۱-۱۲ کاربرد رادیوایزوتوپ در زیست‌شناسی.....	۱۴۹
۱-۱۲ نقش L متیونین 35S در تحقیقات بیولوژیکی.....	۱۵۱
۱-۱۲ سنتز 35L- S متیونین.....	۱۵۲
۱-۱۲ سنتز نوکلئوتید پورین.....	۱۵۲
۱-۱۲ سنجش‌های لیگاند رادیواکتیو.....	۱۵۲
۱-۱۲ سنجش گیرنده رادیواکتیو.....	۱۵۲
۱-۱۲ پیوند گیرنده.....	۱۵۲
۱-۱۲ اتورادیوگرافی.....	۱۵۳
۱-۱۲ توزیع بیولوژیکی.....	۱۵۳
۱-۱۲ مسیرهای متابولیکی و بیوشیمیایی.....	۱۵۴
۱-۱۲ مطالعات مسیرهای سنتز بیولوژیکی.....	۱۵۴
۱-۱۲ کاربرد در پژوهش.....	۱۵۵
خلاصه فصل دوازدهم.....	۱۵۵
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوازدهم.....	۱۵۵

فصل سیزدهم. فیزیک بهداشت.....	۱۵۷
هدف کلی.....	۱۵۷
هدف‌های یادگیری.....	۱۵۷
مقدمه.....	۱۵۷
۱-۱۳ تقسیم‌بندی منابع تشعشع.....	۱۵۸
۲-۱۳ انواع پرتوگیری.....	۱۵۸
۳-۱۳ حداکثر دز مجاز.....	۱۵۸
۴-۱۳ بیماری‌های شغلی ناشی از پرتوهای یون‌ساز.....	۱۵۹
۵-۱۳ سه اصل مهم حفاظت در برابر اشعه.....	۱۵۹
۱-۵-۱۳ زمان.....	۱۵۹
۲-۵-۱۳ فاصله.....	۱۶۰
۳-۵-۱۳ حفاظ.....	۱۶۰
۶-۱۳ تقسیم‌بندی نوکلیدها براساس سمیت.....	۱۶۰
۷-۱۳ حفاظت در برابر پرتوها.....	۱۶۱
۱-۷-۱۳ رفع آلودگی از مواد رادیواکتیو.....	۱۶۱
۲-۷-۱۳ محافظت‌کننده‌های پرتوی.....	۱۶۲
۸-۱۳ مکانیزم عمل.....	۱۶۳
۹-۱۳ توسعه ترکیبات مؤثرتر.....	۱۶۴
خلاصه فصل سیزدهم.....	۱۶۶
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سیزدهم.....	۱۶۷
فصل چهاردهم. محیط‌زیست و نیروگاه‌های هسته‌ای.....	۱۶۹
هدف کلی.....	۱۶۹
هدف‌های یادگیری.....	۱۶۹
مقدمه.....	۱۶۹
۱-۱۴ نحوه رسیدن مواد پرتوزا به انسان.....	۱۷۰
۲-۱۴ حوادث نیروگاه‌های هسته‌ای.....	۱۷۲
۱-۲-۱۴ تری مایل آیلند.....	۱۷۲
۲-۲-۱۴ چرنوبیل.....	۱۷۳
۳-۲-۱۴ حادثه اتمی فوکوشیما.....	۱۷۵
۴-۲-۱۴ مقایسه حادثه چرنوبیل با حادثه فوکوشیما.....	۱۷۷
خلاصه فصل چهاردهم.....	۱۷۹
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهاردهم.....	۱۷۹
پاسخنامه.....	۱۸۱
منابع.....	۱۸۳

پیشگفتار

هانس کریستین فون بایر در کتاب «رام کردن اتم» می‌نویسد روزی، لئو سیالرد فیزیک‌دان به دوستش هانس بت گفت به فکر نوشتن خاطرات روزانه‌اش افتاده است: «نمی‌خواهم منتشرش کنم. فقط می‌خواهم حقایق را برای اطلاع خداوند ثبت کنم» بته در پاسخ پرسید: «آیا گمان نمی‌کنی خداوند از این حقایق اطلاع دارد؟» سیالرد گفت: «بله، گمان می‌کنم. او از حقایق اطلاع دارد، اما از روایت این حقایق به قلم من بی‌خبر است». اینک باوجود کتاب‌های دانشگاهی کامل و جامع در حوزه زیست‌شناسی پرتوی، نویسنده تصمیم دارد که مباحث زیست پرتوی را ساده و روان برای دانشجویان رشته زیست‌شناسی علوم سلولی و مولکولی در دانشگاه پیام نور و دیگر علاقه‌مندان به قلم خود روایت کند.

با توجه به بازنگری سرفصل درس زیست‌شناسی پرتوی طبق مصوبه ۸۵ در تاریخ ۹۵/۰۹/۰۷ کمیسیون برنامه‌ریزی آموزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تصمیم بر آن شد تا ویرایش دوم کتاب زیست پرتوی با تغییرات گسترده آماده و در اختیار دانشجویان رشته زیست‌شناسی علوم سلولی و مولکولی و دیگر علاقه‌مندان قرار گیرد. این کتاب برای یک درس ۱۲ هفته‌ای در یک نیم سال در نظر گرفته شده است. از آنجایی که لازم است دانشجو قبل از مطالعه تأثیرات پرتوها بر موجودات زنده؛ انواع پرتوها را بشناسد؛ ناگزیر در فصل اول تا ششم به معرفی انواع پرتوها پرداخته و به‌سرعت از آن عبور کرده و سپس در فصول بعدی مباحث تأثیرات پرتوها بر

موجودات زنده، طبق سرفصل مصوب کمیسیون برنامه‌ریزی آموزشی ارائه شده است. در ویرایش دوم، مطالب فصل‌های اول و دوم و چهارم و پنجم و ششم موجود در ویرایش اول حذف شده است و در فصل‌های بعدی نیز در موضوعات مختلف، مباحث جدید افزوده شده است. انتظار می‌رود دانشجویان برای بهره‌گیری از این کتاب، شناختی از پرتوها در حد درس پایه فیزیک و معلومات ساده زیست‌شناسی سلولی را داشته باشند.

صفیه صوفیان

فصل اول

تاریخچه علم زیست‌شناسی پرتوی

هدف کلی

آشنایی با چگونگی کشف مواد رادیواکتیو و مواجهه انسان با آن.

هدف‌های یادگیری

پس از اینکه مطالعه این فصل را به پایان رساندید، باید بتوانید:

۱. تاریخچه کشف مواد رادیواکتیو را توضیح دهید.
۲. دلیل لزوم وجود آژانس بین‌المللی انرژی اتمی را بیان کنید.
۳. نقش رادرفورد را در شناساندن انرژی هسته‌ای بدانید.

مقدمه

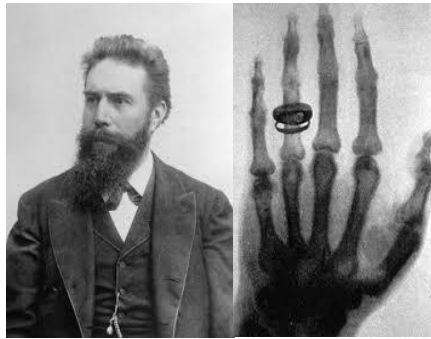
علم زیست‌شناسی پرتوی^۱ یا رادیوبیولوژی به بررسی اثرات پرتوها شامل الکترومغناطیس یا ذره‌ای بر موجودات زنده می‌پردازد. در این فصل به ترتیب زمانی به شرح وقایعی که منجر به ایجاد شاخه زیست‌شناسی پرتویی شد، می‌پردازیم.

۱-۱ کشف رونتگن

علم زیست‌شناسی پرتوی در سال ۱۸۹۵ با کشف پرتو ایکس توسط رونتگن^۲ آغاز شد. در یکی از ایام سال ۱۸۹۵ رونتگن با موردی مواجه شد که وی را دچار تعجب کرد.

1. Radiobiology

2. Roentgen



شکل ۱-۱. تصویر دست همسر رونتگن که به وسیله پرتو ایکس تصویربرداری شده و برای اولین بار در سال ۱۸۹۶ عکاسی شد.

روننگن لوله کروکس خود را در کاغذ سیاهی پیچیده بود و با این حال مشاهده کرد که پرده آغشته به یک ماده فلوئورسنت که در نزدیکی لوله قرار داشت بدون دلیل روشن می‌شود. بعد از اینکه تجربه را چند بار متوالی تکرار کرد چنین دریافت که این عامل اسرارآمیز از کاتد صادر نمی‌شود بلکه از صفحه آلومینیوم یا آنتی‌کاتد ساطع می‌شود. بدین ترتیب روننگن اشعه‌ای کشف کرد که ماهیتش روشن نبود؛ به همین سبب آن را اشعه ایکس یا اشعه مجهول نامید. روننگن یافته خود را در یک سخنرانی عمومی اعلام داشت. اوج این سخنرانی هنگامی بود که روننگن، استاد تشریح سوئیسی رودلف فون کولیکر^۱ را از میان حاضرین فراخواند و از دست این مرد هشتاد ساله با اشعه‌ی X عکس‌برداری کرد. هنگامی که معلوم شد تمامی ساختمان استخوان‌های انگشتان و مچ فون کولیکر نمایان است تمام حاضرین ایستادند و برایش دست زدند. خبر کشف هیجان‌انگیز روننگن به سرعت در سراسر اروپا و آمریکا پخش شد. تولید اشعه X آنقدر آسان بود که به‌زودی کاربرد عملی پیدا کرد.

فقط چهار روز پس از رسیدن خبر کشف روننگن به آمریکا، با استفاده از آن توانستند محل گلوله‌ای را در پای مجروحی ردیابی کنند. داستان‌های شگفتی در مورد خواص عجیب این اشعه در مطبوعات انتشار می‌یافت. پزشکان از بیماران، اقوام و همکاران خود برای نشان دادن ساختمان عادی بدنشان و تجسس برای موارد غیرعادی یا تنها به منظور حس کنجکاوی عکس می‌گرفتند.

۱-۲ اولین گزارش‌ها از تأثیرات رونتگن

اولین مورد راجع به خطرناک بودن اشعه ۴ ماه پس از سخنرانی اولیه رونتگن توسط دکتر دانیل ارئه شد. او گزارش داد تابش پرتو X به مجموعه یکی از همکارانش منجر به ریزش موی او شده است. بروز التهاب و زخم‌های پوستی در دست پزشک‌انی که لوله‌های کاتودیک مولد اشعه X را در دست می‌گرفتند، نیز یکی دیگر از نشانه‌های خطرات پرتو ایکس بود که متأسفانه در آن زمان توجهی به این مسئله نشد.

آلوا ادیسون با انتشار مقاله‌ای در اول فوریه سال ۱۸۹۶، نقش محرک اصلی در تجاری کردن دستگاه‌های پرتو ایکس برای کاربردهای پزشکی را بازی کرد و تصادفی نیست که شرکت جنرال الکتریک یکی از پیشگامان بازاریابی دستگاه‌های پرتو ایکس پزشکی بوده است. ادیسون با شور و هیجانی که همیشه نسبت به کارهایش داشت، به خطرات بالقوه پرتو ایکس توجه اندکی کرد و دستیارانش از آن آسیب دیدند. عبارت زیر را از زندگینامه او نقل می‌کنیم: «وقتی پرتو ایکس پای بر صحنه نهاد، اولین فلوئورسکوپ را با استفاده از تنگستات کلسیم ساختم، همچنین پی بردم که این تنگستن را می‌توان در یک اتاقک خلأ شیشه‌ای قرار داد و به دیواره داخلی آن جوش داد و اگر الکترودهای پرتو ایکس به اتاقک شیشه‌ای داخل شود و خلأ خوبی هم ایجاد شود، می‌توان یک لامپ فلوئورسان با توان چند شمع ساخت. من شروع به ساختن چندتایی از این لامپ‌ها کردم، اما پس از مدت کوتاهی متوجه شدم که پرتو ایکس بر دستیارم تأثیر مسموم‌کننده‌ای داشته است؛ بنابراین نتیجه گرفتم که چیز خوبی نیست و نور مناسب و مطلوبی را به وجود نمی‌آورد؛ بنابراین آن را کنار گذاشتم».

۱-۳ کشف رادیوم

گام بعدی در انقلاب جدید علمی، در پی کشف رونتگن حاصل شد. هانری بکرل^۱، دانشمند فرانسوی، زمانی که مشغول تحقیق بر روی مواد دارای خاصیت فوسفورانس بود متوجه شد که تأثیر نور مرئی و سنگ معدن اورانیوم (سولفات پتاسیم اورانیوم) بر روی یک فیلم عکاسی بسته‌بندی شده یکسان است. (بعدها مشخص شد که سنگ معدن اورانیوم از خود پرتوهای آلفا و گاما گسیل کرده و چون پرتوهای گاما همان

پرتوهای X پرنرژی هستند و از جنس نور یا امواج الکترومغناطیسی‌اند، بنابراین اورانیوم، چنین تأثیری بر روی فیلم عکاسی بسته‌بندی شده وی گذاشته است).

ماری کوری^۱ اکتشافات روننگن و بکرل را با علاقه زیادی دنبال می‌کرد و در ۱۶ دسامبر ۱۸۹۷ به مطالعه اشعه حاصل از سولفات پتاسیم اورانیوم پرداخت که تکرار آزمایش بکرل بود.

ماری با اشاره به این اشعه در دفتر آزمایشگاهش اصطلاح رادیواکتیویته^۲ را به کار برد. کوری هم مانند بکرل تأیید کرد که رادیواکتیویته وقتی از هوا می‌گذرد آن را «برق‌زده»^۳ می‌کند. هوا یونیزه شده و می‌توانست الکتریسیته را هدایت کند. هر چه که رادیواکتیو شدیدتر می‌شد، یونیزاسیون افزایش می‌یافت. با این حال مقدار یونیزاسیون در حدود $10^{-12} \times 50$ آمپر بود. این مقدار به دستگاه اندازه‌گیری بسیار دقیقی نیاز داشت. ماری کوری شروع به بررسی ترکیبات مختلف اورانیوم کرد و متوجه شد که یک نوع سنگ معدن اورانیوم بسیار رادیواکتیو بوده و $10^{-12} \times 83$ آمپر الکتریسیته ایجاد می‌کرد و از طرف دیگر بعضی از نمک‌های اورانیوم فقط $10^{-12} \times 0.3$ آمپر الکتریسیته ایجاد می‌کردند؛ اما آیا این خاصیت فقط منحصر به اورانیوم بود؟ ماری کوری آزمایش‌هایی را با اتم‌هایی که وزن اتمی مشابه داشتند شروع کرد. فقط اورانیوم نبود که این خاصیت را داشت. توریم^۴ نیز رادیواکتیو بود. در همین حین ماری کوری خاصیت پرتوزایی^۵ را کشف کرد و تعداد محدودی ماده پرتوزا مانند پولونیم^۶ که از نام لاتین لهستان محل تولد ماری کوری گرفته شده و رادیم و باریوم را به جهان علم معرفی کرد و نام‌های کنونی چون رادیواکتیو (پرتوزا) یا رادیواکتیویته (پرتوزایی) را برگزید و منتشر ساخت. در آن زمان، اطلاعات بشر در مورد این مواد بسیار کم بود و رادیواکتیویته علم را به دوران جدیدی هدایت می‌کرد.

۴-۱ کشف رادرفورد

در این حین رادرفورد^۷ فیزیکدان نیوزلندی به مواد رادیواکتیو جدید علاقه‌مند شد.

1. Curi

2. Radio Activity

3. Electrocutation

4. Thorium

5. Radioactive

6. Polonium

7. Rutherford

ارنست رادرفورد در سال ۱۸۹۵ به آزمایشگاه کاوندیش دانشگاه کمبریج آمد تا در آنجا تحت مدیریت تامسون مشغول به کار شود، تامسون که استاد فیزیک تجربی بود، رادرفورد را فعالانه در آزمایشگاه به کار گرفت. رادرفورد در اوایل کار تحقیقاتی خود با انجام آزمایشی که فکر آن از خود وی بود دو تابش رادیواکتیو ناهمانند را شناسایی کرد. او پی برد که بخشی از تابش با برگه‌ای به ضخامت یک پانصد متر قابل ایستادن بود اما برای متوقف کردن بخش دیگر برگه‌های بس ضخیم‌تری لازم بود. او اولین اشعه‌ای را که تابشی با بار الکتریکی مثبت و یونیزه کننده‌ای قوی بود و به سهولت در مواد جذب می‌شد را اشعه آلفا نامید. اشعه دوم را که تابشی با بار الکتریکی منفی بود و تشعشع کمتری ایجاد می‌کرد اما قابلیت نفوذ آن در مواد زیاد بود را اشعه بتا نام‌گذاری کرد. تابش نوع سوم که شبیه پرتوهای ایکس بود، در سال ۱۹۰۰ به‌وسیله پل اوریچ ویلارد (فیزیکدان فرانسوی) کشف شد، این پرتو نافذترین تابش را داشت. طول‌موج آن بسیار کوتاه و فرکانس آن فوق‌العاده زیاد بود، تابش جدید پرتوگاما نام گرفت. رادرفورد و همکارانش کشف کردند که فعالیت تشعشعی طبیعی مشهود در اورانیوم، فرایند خروج ذره آلفا از هسته اتم اورانیوم به‌صورت یک هسته اتم هلیوم و برجای ماندن اتمی سبک‌تر از اتم اورانیوم است. از کشف آن‌ها نتیجه‌گیری شد که رادیوم تنها عنصر از عناصر حاصل از فعالیت تشعشعی اورانیوم است.

در سال ۱۹۰۲ رادرفورد مقاله‌ای با عنوان علت و ماهیت رادیواکتیویته منتشر کرد. در این مقاله بر تفاوت اساسی بین اشعه X و رادیواکتیویته تأکید شده بود که تا آن زمان به‌نظر می‌رسید بسیار شبیه هم باشند. هنگامی اشعه X تولید می‌شد که یک ماده بمباران می‌شد. درحالی‌که رادیواکتیویته به‌طور خود به خودی ایجاد می‌شد. رادرفورد در سال ۱۹۰۴ نخستین کتاب خود به‌نام فعالیت تشعشعی را که امروزه از کتب کلاسیک درزمینه رادیواکتیویته شناخته می‌شود را منتشر کرد و به‌سرعت دست به کار تدوین نظریه‌های تازه درباره ساختار اتم شد. آن دوره پرثمرترین دوره زندگی دانشگاهی او بود. رادرفورد به پاس کوشش‌های علمی خود در دانشگاه منچستر نشان‌ها و جوایز زیادی دریافت کرد که دریافت جایزه نوبل سال ۱۹۰۷ در شیمی نقطه اوج آن بود. ارنست رادرفوردی که برخی از لهجه و ظاهر غیردانشگاهی‌اش شگفت‌زده شده و یا او را با کشاورزی استرالیایی اشتباه می‌گرفتند. این نشان افتخار البته برای کارهایی که در کانادا درزمینه فعالیت تشعشعی عناصر کرده بود به او اعطا شد. بزرگ‌ترین دستاورد رادرفورد

در دانشگاه منچستر کشف ساختار هسته اتم بود. پیش از رادفورد اتم به گفته خود او یک موجود نازنین سخت و قرمز و یا به‌حسب سلیقه، خاکستری بود اما اینک یک منظومه شمسی بسیار ریز متشکل از ذرات بی‌شمار بود که مظنون به نهفته داشتن اسرار ناگشوده متعدد دیگر هم بود.

رادفورد در سال ۱۹۳۷ درگذشت. او در آن هنگام ۶۶ ساله و هنوز سرزنده و قوی بود. سهم رادفورد در شکل‌گیری درک کنونی ما از ماهیت ماده از هر کس دیگری بیشتر است و به همین علت، او را پدر انرژی هسته‌ای نامیده‌اند. رادفورد باوجود همه بصیرتش، به اعتبار نقل‌قول زیر از سخنرانی او در سال ۱۹۳۳ در انجمن بریتانیایی پیشبرد علوم از خطا مصون نبود «انرژی ناشی از شکسته شدن اتم چیز بسیار بی‌مقداری است و هر کسی که از تبدیل این اتم‌ها انتظار منبع قدرتی را داشته باشد، یاوه‌گویی می‌کند».

مدت‌های طولانی چنین فرض می‌شد که چیزی چنین معجزه‌آسا و سرشار از انرژی مانند رادیواکتیویته، حتماً باید مفید باشد. چند سال نیز تولیدکنندگان خمیردندان و داروهای ملین به محصولات خودشان توریوم رادیواکتیو می‌افزودند و دست‌کم تا اواخر دهه ۱۹۲۰ هتل‌ها در منطقه فینگرلینکز نیویورک اثرات درمانی چشمه‌های آب‌معدنی رادیواکتیو خود را با غرور به مردم نمایش می‌دادند. استفاده از رادیواکتیو تا سال ۱۹۳۸ ممنوع نشده بود؛ یعنی بیش از ۴۰ سال زمان نیاز بود تا آدمی به‌طور جدی متوجه خطرات عناصر رادیواکتیو شود.

این زمان برای ماری کوری بسیار دیر شده بود، چون در سال ۱۹۳۴ بر اثر ابتلا به سرطان خون در گذشته بود. به عبارت دقیق‌تر تشعشع چنان خطرناک و دارای اثرات ماندگار است که حتی امروزه یادداشت‌های روزانه ماری کوری به‌قدری خطرناک‌اند که نباید به آن‌ها دست زد. کتاب‌های ماری کوری در جعبه‌های دارای آستر سربی نگهداری می‌شوند و کسانی که بخواهند آن‌ها را ببینند باید لباس ایمنی بپوشند. زندگی ماری کوری در یک کلام قهرمانانه بود. او در بیست‌ویک سالگی در نامه‌ای به دوستش نوشت «اصل اول: اجازه نده که شخصیت تو مورد تهاجم افراد یا رویدادها قرار گیرد».

پرتوهای گسیلی ایرادیوم و دیگر عناصر پرتوزا بسیار پرنرژی‌اند. آن‌ها می‌توانند سلول‌های زنده را نابود کرده و موجب سوختگی شدید شوند و به بافت‌های داخلی آسیب برسانند. کوری‌ها و همکارانشان در تحقیقات پرتوزایی از برخی از این آثار



شکل ۱-۲. دست‌نوشته‌هایی ماری کوری در جعبه‌های دارای آستر سربی در موزه کتابخانه فرانسه نگهداری می‌شود.

زیست‌شناختی آگاه بودند، اما خطرهای موجود را سطحی در نظر گرفته و آسیب‌ها بر سلامتی را دست‌کم می‌گرفتند. پی‌یر کوری چند آزمایش مختصر در مورد آثار زیست‌شناختی پرتوهای گسیل شده از رادیوم بر روی بچه قورباغه‌های در حال رشد را به فرهنگستان ارائه داد که ناهنجاری‌های شدیدی در بچه قورباغه‌ها به‌وجود آمده بود. به این یافته‌ها توجه چندانی نشد. حتی هنگامی‌که رادیولوژیست‌های اولیه دچار ضایعات پوستی شدند و انگشتان خود را از دست دادند، کوششی در جهت بررسی نظام‌مند اثرات تابش بر سیستم‌های زنده به عمل نیامد. در سال ۱۹۰۲ برای اولین بار گزارش داده شد که تابش‌دهی پوست با پرتوهای ایکس می‌تواند به سرطان پوست بیانجامد؛ اما حتی در آن هنگام هم تعداد کمی از دانشمندان انگیزه لازم برای بررسی نظام‌مند اثرات زیست‌شناختی تابش یوننده را به‌دست آوردند.

۱-۵ شکافت هسته‌ای

شکافت هسته‌ای برای اولین بار در سال ۱۹۳۹ توسط اتوهان^۱ و لی‌زمیتنر^۲ در انیستیتوی شیمی ویلهلم در برلین کشف شد. نتایج بمباران اورانیوم به‌وسیله نوترون، هم جالب بود و هم سؤال برانگیز. این آزمایش اولین بار در سال ۱۹۳۴ توسط انریکو فرمی^۳ و همکارانش انجام شد اما تا سال‌ها بعد نتوانستند آن را به‌خوبی تفسیر کنند. نیلز بوهر^۴

1. Otto Hahn
2. Lise Meitner
3. Enrico Fermi
4. Niles Bohr

در ۱۶ ژانویه سال ۱۹۳۹ از کپنهاگ دانمارک به ایالات متحده آمد و در پرینستون به سراغ اینشتین رفت تا خبرهای نگران‌کننده و هشداردهنده‌ای را با او در میان نهد. فرمول $E=mc^2$ با مدارک قاطعی تأیید شده بود. (سال بعد بوهر مجبور شد برای فرار از دست نازی‌ها به سوئد فرار کند) درست قبل از اینکه بوهر دانمارک را ترک کند دو تن از همکارانش به نام اتورابریت فریچ^۱ و لیز میتنر که هر دو درباره تحقیقاتشان با بوهر صحبت کرده بودند، حدس زده بودند که احتمالاً جذب یک نوترون توسط هسته اورانیوم در برخی موارد منجر به شکسته شدن هسته به دو بخش تقریباً مساوی همراه با آزاد شدن مقدار زیادی انرژی خواهد شد؛ فرایندی که آن‌ها اسمش را «شکافت» گذاشتند؛ و به‌زودی قادر به ساختن بمبی با قدرت باورنکردنی می‌شدند. اینشتین در نامه‌ای این اطلاعات را در اختیار پرزیدنت روزولت، رئیس‌جمهور وقت آمریکا قرارداد و آن‌ها نیز به‌طور محرمانه پروژه منهتن را برای ساختن نخستین بمب اتمی راه‌اندازی کردند.

در دوم دسامبر ۱۹۴۲، در یک زمین اسکواش زیر استادیوم دانشگاه شیکاگو، اولین واکنش هسته‌ای و زنجیره‌ای خودبه‌خود، ساخته دست بشر انجام گرفت. این پروژه موفق به ساخت اولین بمب هسته‌ای شد که در ۱۶ ژوئیه ۱۹۴۵ در صحرای الاموگروود واقع در ایالت نیومکزیکو آزمایش شد. شاهدانی که از فاصله صد کیلومتری این رویداد را دیده بودند، مشاهدات خود را این‌گونه گزارش کردند که آن‌ها دیده‌اند که «خورشید ناگهان از سمت مغرب طلوع و بلافاصله غروب کرد» در حقیقت برای این شاهدان، انفجار هسته‌ای همانند طلوع و غروب خورشید جلوه‌گر شده بود.

بمب‌های اتمی که متعاقباً در سال ۱۹۴۵ بر روی هیروشیما و ناگازاکی انداخته شدند منبعی قوی از تابش با شدت بالا به‌شمار می‌رفت. در هیروشیما تعداد کشته‌شدگان ۲۷۰۰۰۰ نفر و تعداد زخمی‌های شدید ده‌ها هزار نفر گزارش شد. درجه حرارت منطقه انفجار به‌قدری بود که تا شعاع یک کیلومتری مرکز انفجار، تمام خانه‌های چوبی و سنگی کاملاً سوختند و قشر خارجی آجرها و سنگ‌های عمارات ذوب شده بودند. از ۷۵ هزار خانه هیروشیما ۵۵ هزار خانه به‌کلی سوخت، ۲۶۰۰ خانه نیم‌سوز شد، ۶۸۲۰ خانه منهدم و مابقی نیمه خراب شد و در کل ۹۰٪ شهر تخریب شد. فقط معدودی از سکنه اطراف